

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO;**

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-091559

(43)Date of publication of application : 31.03.2000

(51)Int.Cl.

H01L 29/778  
H01L 21/338  
H01L 29/812  
H01L 21/205  
H01S 5/323

(21)Application number : 10-260297

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 14.09.1998

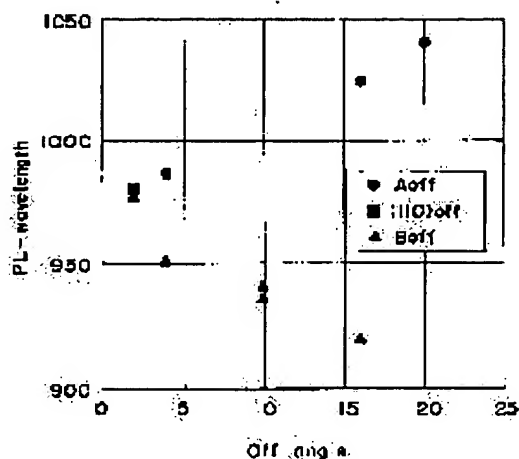
(72)Inventor : YOSHIKAWA SHUNEI

## (54) COMPOUND SEMICONDUCTOR DEVICE AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To put nitrogen into a compound semiconductor in a compound semiconductor device such as a high electron mobility transistor, semiconductor laser, etc.

SOLUTION: This compound semiconductor device is composed of a gallium arsenic substrate having a main surface separated from (100) surface, the first compound semiconductor layer formed on the main surface, the second compound semiconductor layer comprising In, Ga $1-x$  N $y$ As ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 \leq y \leq 0.1$ ) formed on the first semiconductor layer and the third semiconductor layer formed on the second semiconductor layer.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-91559

(P2000-91559A)

(43)公開日 平成12年 3 月31日 (2000.3.31)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 L	29/778	H 0 1 L 29/80	H 5 F 0 4 5
	21/338	21/205	5 F 0 7 3
	29/812	H 0 1 S 3/18	6 7 3 5 F 1 0 2
	21/205		
H 0 1 S	5/323		

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願平10-260297

(22)出願日 平成10年 9 月14日 (1998.9.14)

(71)出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号

(72)発明者 吉川 俊英

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番  
1 号 富士通株式会社内

(74)代理人 100091672

弁理士 岡本 啓三

最終頁に続く

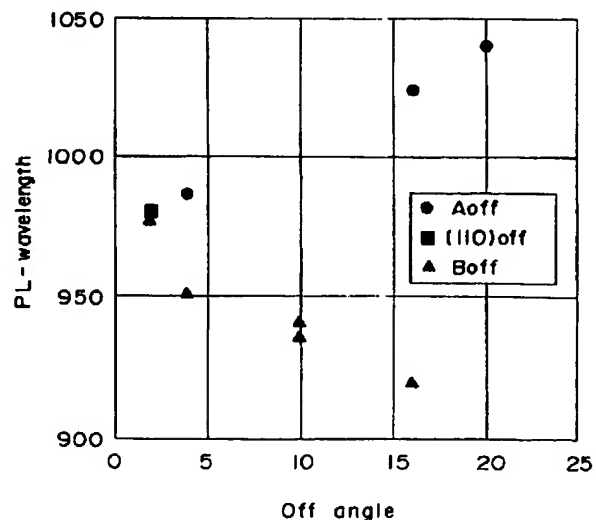
(54)【発明の名称】 化合物半導体装置及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】高電子移動度トランジスタ、半導体レーザ等の化合物半導体装置に関し、化合物半導体に窒素の導入を容易にすること。

【解決手段】(100)面からオフした主面を有するガリウム砒素基板と、前記主面の上に形成された第1の化合物半導体層と、前記第1の化合物半導体層の上に形成された $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}_y\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 < y \leq 0.1$ )よりなる第2の化合物半導体層と、前記第2の化合物半導体層の上に形成された第3の化合物半導体層とを含む。

本発明の実施形態の化合物半導体素子が形成される GaAs 基板の Off 角度の相違による InGaAs 層の PL 波長の変化



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】(100)面からオフした主面を有するガリウム砒素基板と、前記主面の上に形成された第 1 の化合物半導体層と、

前記第 1 の化合物半導体層の上に形成された  $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}_y \text{As}$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 < y \leq 0.1$ ) よりなる第 2 の化合物半導体層と、

前記第 2 の化合物半導体層の上に形成された第 3 の化合物半導体層とを有することを特徴とする化合物半導体装置。

【請求項 2】前記第 2 の化合物半導体層は、高電子移動度トランジスタの電子走行層であり、前記第 3 の化合物半導体層は該高電子移動度トランジスタの電子供給層であることを特徴とする請求項 1 記載の化合物半導体装置。

【請求項 3】前記第 2 の化合物半導体層のエネルギーバンドギャップは前記第 1 及び第 3 の化合物半導体層のエネルギーバンドギャップよりも小さく、

前記第 2 の化合物半導体層は半導体レーザの活性層であり、

前記第 1 及び第 3 の化合物半導体層は前記半導体レーザのクラッド層であることを特徴とする請求項 1 記載の化合物半導体装置。

【請求項 4】前記主面は、 $0.2$  度以上  $25$  度以下の角度でオフしていることを特徴とする請求項 1 記載の化合物半導体装置。

【請求項 5】前記主面は、A 面方向にオフしていることを特徴とする請求項 1 記載の化合物半導体装置。

【請求項 6】ガリウム砒素基板の上に形成され、 $\text{In}_z \text{Ga}_{(1-z)} \text{As}$  ( $0.01 \leq z \leq 0.7$ ) よりなるバリア層と、

前記バリア層の上に形成され、 $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}_y \text{As}$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 < y \leq 0.1$ ) よりなる電子走行層と、前記電子走行層の上に形成されて、前記電子走行層よりもバンドギャップが広く且つ不純物を含む電子供給層とを有することを特徴とする化合物半導体装置。

【請求項 7】前記バリア層の膜厚は  $10 \text{ nm}$  以下であることを特徴とする請求項 6 記載の化合物半導体装置。

【請求項 8】前記ガリウム砒素基板と前記バリア層の間には、ガリウム砒素又はアルミニウムガリウム砒素よりなるバッファ層が形成されていることを特徴とする請求項 6 記載の化合物半導体装置。

【請求項 9】前記電子供給層は、アルミニウムガリウム砒素、インジウムガリウム燐、アルミニウムガリウムインジウム燐のいずれかから構成されることを特徴とする請求項 6 記載の化合物半導体装置。

【請求項 10】前記電子走行層を構成する  $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}_y \text{As}$  の組成比  $x$  は、膜厚方向で変化していることを特徴とする請求項 6 記載の化合物半導体装置。

【請求項 11】前記組成比  $x$  は、前記ガリウム砒素基板

側から前記電子供給層の方向で、 $0$  から  $0.3$  を経て  $0$  へと変化していることを特徴とする請求項 10 記載の化合物半導体装置。

【請求項 12】前記組成比  $y$  は、前記電子走行層内で傾斜して変化していることを特徴とする請求項 6 記載の化合物半導体装置。

【請求項 13】前記組成比  $y$  は、前記ガリウム砒素基板側から前記電子供給層の方向で、 $0$  から  $0.03$  を経て  $0$  へと変化していることを特徴とする請求項 12 記載の化合物半導体装置。

【請求項 14】ガリウム砒素基板の上に、 $\text{In}_z \text{Ga}_{(1-z)} \text{As}$  ( $0.01 < z < 0.7$ ) よりなるバリア層を有機金属

属気相成長法により形成する工程と、前記バリア層の上に、 $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}_y \text{As}$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 < y \leq 0.1$ ) よりなる電子走行層を有機金属属気相成長法により形成する工程と、

前記電子走行層を形成した後成長温度を上げる工程と、

前記電子走行層の上に、前記電子走行層よりもバンドギャップが広く且つ不純物を含む電子供給層を有機金属属気相成長法により形成する工程とを有することを特徴とする化合物半導体装置の製造方法。

【請求項 15】前記成長温度を上げる工程の前に、前記電子走行層の上にインジウムガリウム砒素層を  $5 \text{ nm}$  以下の厚さで有機金属属気相成長法により形成する工程をさらに含むことを特徴とする化合物半導体装置の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、化合物半導体装置及びその製造方法に関し、より詳しくは、高電子移動度トランジスタ、半導体レーザ等の化合物半導体装置及びその製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】高電子移動度トランジスタや半導体レーザなどの化合物半導体装置は、インジウム燐 ( $\text{InP}$ ) 基板やガリウム砒素 ( $\text{GaAs}$ ) 基板を使用して形成される。例えば、 $\text{GaAs}$  基板を使用し、その上にインジウムガリウム砒素 ( $\text{InGaAs}$ ) を電子走行層として形成し、さらに、電子走行層の上にアルミニウムガリウム砒素 ( $\text{AlGaAs}$ ) 又はインジウムガリウム燐 ( $\text{InGaP}$ ) を電子供給層として形成して構成される高速移動度トランジスタ ( $\text{HEMT}$ ) は既に実用化されている。そのような構造の  $\text{HEMT}$  は、衛星放送用の低雑音アンプやデータ伝達速度  $10 \text{ Gbps}$  の高速通信用デバイスとして用いられている。

【0003】また、インジウムガリウム窒素砒素 ( $\text{InGaNAs}$ ) よりなる活性層を  $\text{GaAs}$  基板の上に形成して構成される  $1.3 \mu \text{ m}$  波長帯の長波長用半導体レーザが開発されている。このような半導体レーザでは、アルミニウム砒素 ( $\text{AlAs}$ ) を  $\text{GaAs}$  基板の上に形成することができるために、 $\text{AlAs}$  と  $\text{GaAs}$  よりなる  $\text{DBR}$  ミラーを使用すること

も可能になる。InGaAs を活性層として適用すると、活性層とクラッド層との伝導帯端のエネルギー差  $\Delta E_c$  が 0.5 eV 以上となるために、温度特性の改善が可能になる。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 40 Gbps 帯のデータ通信速度を得るために、GaAs 基板の代わりに InP 基板を使用してその上に InGaAs よりなる電子走行層と、InAlAs よりなる電子供給層とを形成して構成される HEMT の開発が進められている。しかし、InP 基板を用いた HEMT には、①ゲート電極形成のためのドライエッチングの選択性が低く、②ゲート電極を構成する金属が InAlAs 層に接触すると信頼性が劣化し、③InP 基板の上に形成するバッファ層の耐圧を高くできず、④InP 基板は脆くて割れやすく、⑤InP 基板の単価が GaAs 基板の単価の数倍に及ぶなどの問題がある。

【0005】したがって、GaAs 基板を用いてデータ通信速度 40 Gbps 帯の HEMT の開発が望まれている。また、半導体レーザでは、GaAs 基板の上に InGaAs 活性層を有機金属気相成長 (MOVPE) 法で成長する場合に、活性層内に窒素が混入しにくいという課題がある。これは、InGaAs 層の成長中に窒素が脱離し易いからである。窒素を脱離させ難くするためには、InGaAs の成長温度を下げる必要があるが、成長温度を下げると水素が混入するという不都合がある。

【0006】本発明の目的は、GaAs 基板の上に高い移動度が可能な化合物半導体層を有し、また、化合物半導体に窒素の導入が容易な構造を有する化合物半導体装置、及びその製造方法を提供することにある。

#### 【0007】

【課題を解決するための手段】 (1) 上記した課題は、図 2、図 8、図 9 に例示するように、(100) 面からオフした主面を有するガリウム砒素基板 11、21 と、前記主面の上に形成された第 1 の化合物半導体層 12、13、22~24 と、前記第 1 の化合物半導体層 12、13、22~24 の上に形成された  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}_y\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 < y \leq 0.1$ ) よりなる第 2 の化合物半導体層 14、25 と、前記第 2 の化合物半導体層 14、25 の上に形成された第 3 の化合物半導体層 15、26~28 とを有することを特徴とする化合物半導体装置によって解決する。

【0008】上記した化合物半導体装置において、図 2 に例示するように、前記第 2 の化合物半導体層 14 は、高電子移動度トランジスタの電子走行層であり、前記第 3 の化合物半導体層 15 は該高電子移動度トランジスタの電子供給層であることを特徴とする。上記した化合物半導体装置において、図 9 に例示するように、前記第 2 の化合物半導体層 25 のエネルギーバンドギャップは前記第 1 及び第 3 の化合物半導体層 23、27 のエネルギーバンドギャップよりも小さく、前記第 2 の化合物半

体層 25 は半導体レーザの活性層であり、前記第 1 及び第 3 の化合物半導体層 23、27 は前記半導体レーザのクラッド層であることを特徴とする。

【0009】上記した化合物半導体装置において、図 8 に例示するように、前記主面は、0.2 度以上 25 度以下の角度でオフしていることを特徴とし、また、前記主面は、A 面方向にオフしていることを特徴とする。次に、本発明の作用について説明する。本発明によれば、

(100) 面からオフした主面を有する GaAs 基板を使用して、その主面の上方に InGaAs よりなる化合物半導体層を形成している。これにより、オフ角によって InGaAs に含まれる窒素の量を制御することができるので、温度を下げることなく所望の窒素量を含む InGaAs を形成することができる。

【0010】InGaAs を成長する際に、温度を低下させると窒素の脱離が防止されるが、その代わりに水素の混入量が多くなってしまうので、水素の混入量を減らすことでも本発明は有効である。例えば、主面は (100) 面から A 面方向にオフさせると、主面における A 面ステップの密度を増加させることができ、その結果、InGaAs の砒素の吸着効率が低くなり、相対的に窒素の吸着効率が高くなって、窒素の混入を高温でも達成できる。

(2) 上記した課題は、図 2 に例示するように、ガリウム砒素基板 11 の上に形成され、 $\text{In}_z\text{Ga}_{(1-z)}\text{As}$  ( $0.01 \leq z \leq 0.7$ ) よりなるバリア層 13 と、前記バリア層 13 の上に形成され、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}_y\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 < y \leq 0.1$ ) よりなる電子走行層 14 と、前記電子走行層 14 の上に形成されて、前記電子走行層 14 よりもバンドギャップが広く且つ不純物を含む電子供給層 15 とを有することを特徴とする化合物半導体装置によって解決する。

【0011】上記した化合物半導体装置において、前記バリア層 13 の膜厚は 10 nm 以下であることを特徴とする。上記した化合物半導体装置において、前記ガリウム砒素基板 11 と前記バリア層 13 の間には、ガリウム砒素又はアルミニウムガリウム砒素よりなるバッファ層 12 が形成されていることを特徴とする。

【0012】上記した化合物半導体装置において、前記電子供給層 15 は、アルミニウムガリウム砒素、インジウムガリウム燐、アルミニウムガリウムインジウム燐のいずれかから構成されることを特徴とする。上記した化合物半導体装置において、前記電子走行層 14 を構成する  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}_y\text{As}$  の組成比  $x$  は、膜厚方向で変化していることを特徴とする。例えば、前記組成比  $x$  は、前記ガリウム砒素基板 11 側から前記電子供給層 15 の方向で 0 から 0.3 を経て 0 へと変化させる。

【0013】上記した化合物半導体装置において、前記組成比  $y$  は、前記電子走行層 14 内で傾斜して変化していることを特徴とする。例えば、前記組成比  $y$  は、前記ガリウム砒素基板側から前記電子供給層の方向で、0 か

ら0.03を経て0へと変化している。次に、本発明の作用について説明する。

【0014】本発明によれば、化合物半導体装置であるHEMTにおいて、InGaAs 電子供給層とその下のGaAs層又はAlGaAs層との間にInGaAsバリア層を介在させている。InGaAsバリア層は、InGaAsの成長初期において、窒素がGaAs層又はAlGaAs層に混入することを防止する。これにより、HEMTの特性が向上する。なお、電子供給層の下のGaAs層又はAlGaAs層に窒素が混入するとp型化され易くなってHEMTの特性が劣化させてしまうが、本発明ではバリア層によって窒素混入が防止される。

(3) 上記した課題は、図2、図6に例示するように、ガリウム砒素基板11の上に、 $\text{In}_{1-z}\text{Ga}_z\text{As}$  ( $0 < z < 0.7$ ) よりなるバリア層13を有機金属気相成長法により形成する工程と、前記バリア層13の上に、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}_y\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 < y \leq 0.1$ ) よりなる電子走行層14を有機金属気相成長法により形成する工程と、前記電子走行層14を形成した後に成長温度を上げる工程と、前記電子走行層14の上に、前記電子走行層14よりもバンドギャップが広く且つ不純物を含む電子供給層15を有機金属気相成長法により形成する工程とを有することを特徴とする化合物半導体装置の製造方法によって解決する。

【0015】上記した化合物半導体装置の製造方法において、前記成長温度を上げる工程の前に、前記電子走行層の上にインジウムガリウム砒素層を5nm以下の厚さで有機金属気相成長法により形成する工程をさらに含むことを特徴とする。次に、本発明の作用について説明する。本発明によれば、InGaAs層を成長した後に、その後形成される化合物半導体層の成長温度を上げたところ、InGaAs層での水素の混入量が減り、さらに、電子走行層の上にInGaAs層を薄く形成した後に、その後形成される化合物半導体層の成長温度を上げたところ、炭素の混入量が減少することが実験により確かめられた。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}_y\text{As}$ 層に炭素が混入されると、炭素はp型不純物となりやすいため、HEMT特性を劣化させるが、温度調整によりp型不純物の混入が防止されて、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}_y\text{As}$ 層のp型化が防止される。

【0016】

【発明の実施の形態】そこで、以下に本発明の実施形態を図面に基いて説明する。まず、本発明の実施形態の化合物半導体成長に使用する有機金属気相成長(MOVPE)装置を図1に基いて説明する。図1において、成長炉である減圧横型炉1の周囲には炉内を加熱するためのヒータHが配置されている。

【0017】減圧横型炉1のガス導入端には、第1～第6の恒温槽2a～2f内の各容器3a～3fからそれぞれ引き出された第1～第6のガス供給管4a～4fが接続されている。第1の恒温槽2aの容器3aにはガリウ

ム(Ga)を供給するためのトリメチルガリウム(TMG)が収納され、第2の恒温槽2bの容器3bにはガリウムを供給するためのトリエチルガリウム(TEG)が収納され、第3の恒温槽2cの容器3cにはアルミニウム(Al)を供給するためのトリメチルアルミニウム(TMAI)が収納され、第4の恒温槽2dの容器3dにはインジウム(In)を供給するためのトリメチルインジウム(TEI)が収納され、第5の恒温槽2eの容器3eには窒素(N)を供給するためのジメチルヒドラジン(DMH)が収納され、第6の恒温槽2fの容器3fにはp型不純物となる亜鉛(Zn)を供給するためのジメチル亜鉛(DMZ)が収納されている。

【0018】各容器3a～3fに収納された各液体は、第1～第6のキャリアガス供給管5a～5fを通して供給された水素ガスによってバブリングされて気化される。そして、第1～第6の恒温槽2a～2fで気化された各ガスは、それぞれ第1～第6のガス供給管4a～4fを通して減圧横型炉1内に搬送される。なお、第1～第6のキャリアガス供給管5a～5fには、それぞれ、キャリアガス(水素ガス)のガス流量を調整するためのマスフローコントローラ6a～6fが取り付けられている。

【0019】また、ガス供給管4a～4fとキャリアガス供給管5a～5eと容器3a～3fのそれぞれには切換弁7a～7fが取り付けられていて、キャリアガス供給管5a～5fを通して送られる水素ガスの供給先を変更できるようになっている。以上は、III族元素、窒素又はp型不純物を供給するためのソースガスの制御系であり、V族元素、n型不純物元素を供給するためのソースガスの制御系は次のようである。

【0020】減圧横型炉1のガス導入端には、砒素供給用のアルシン( $\text{AsH}_3$ )供給源8、リン供給用のホスフィン( $\text{PH}_3$ )供給源9、n型不純物であるシリコン( $\text{Si}$ )供給用のジシラン( $\text{Si}_2\text{H}_6$ )供給源10がそれぞれ第6～第9のガス供給管4g～4iを介して接続されている。また、第6～第9のガス供給管4g～4iには、それぞれマスフローコントローラ6g～6iが取り付けられ、ガス流量を調整できるようになっている。

【0021】なお、減圧横型炉1のガス出力端には、図示しない減圧ポンプに接続されるガス出力口Eが設けられている。以上述べたようなMOVPE装置を使用して以下に説明する化合物半導体を成長する。

#### 第1例

この第1例では、HEMTとその製造方法について説明する。

【0022】図2(a)、(b)は、本発明の実施形態に係るHEMTの成長工程を示す断面を示している。まず、3インチ径の半絶縁性ガリウム砒素(GaAs)基板11を減圧横型炉1内に置くとともに、減圧横型炉1内の成長圧力を50Torrに保持するとともに、ヒータHの制御によ



り基板温度を520℃～600℃の範囲内に設定する。

【0023】そのGaAs基板11は、例えば(100)面から0.5～20°傾斜した主面を有するいわゆるオフ基板であり、その主面の上に図2(a)に示すような化合物半導体層を成長する。図2(a)において、GaAs基板11の上には、アンドープのGaAsよりなるバッファ層12と、アンドープの $\text{In}_z\text{Ga}_{(1-z)}\text{As}$  ( $0.01 \leq z \leq 0.7$ )よりなる窒素拡散防止(バリア)層13と、アンドープの $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}_y\text{As}_{(1-y)}$  ( $0 \leq x \leq 0.7, 0 < y \leq 0.1$ )よりなる電子走行層14と、アンドープのAlGaAsよりなる電子供給層15と、 $n^+$ 型のGaAsキャップ層17とが順に成長されている。それらの層12～18は、図1に示したMOVPE法を使用し、各層の構成元素を供給するためのソースガスは、マスフローコントローラ6a～6iによって調整される。なお、図中、2DEGは二次元電子ガスを示している。

【0024】それらの層の厚さの一例をあげると、GaAsバッファ層12の厚さは600nm、InGaAs窒素拡散防止層13の厚さは10nm以下(例えば3nm)、InGaAs電子走行層14の厚さは20nm、AlGaAs電子供給層15の厚さは30nm、GaAsキャップ層16の厚さは70nmである。また、不純物がドーパされる層の不純物濃度として、例えば、AlGaAs電子供給層15ではシリコン濃度が約 $2 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>、GaAsキャップ層16ではシリコン濃度が $3 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>以上となっている。電子供給層15の上部のシリコン濃度を $5 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>以下と低くしてもよい。

【0025】なお、電子供給層15と電子走行層14の間に膜厚5nm以下のGaAs層又はInGaAs層を介在させて、電子走行層14に含まれる窒素が電子供給層15へ拡散することを防止するようにしてもよい。以上のような化合物半導体層の形成を終えた後に、GaAs基板11を減圧横型炉1から取り出す。その後に、酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )、窒化シリコン( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )などよりなる絶縁膜18をキャップ層16の上に形成する。

【0026】次に、図2(b)に示すように、ゲート領域にある絶縁膜18とキャップ層16をリソグラフィー法によって除去してリセスRを形成する。その後に、絶縁膜18の上とリセスRの中にタングステンシリサイド

(WSi)層と金(Au)層をスパッタにより連続して形成し、さらに、Au層とWSi層をフォトリソグラフィーによりパターニングしてリセスR内とその周辺に残存させる。これらのAu層とWSi層により、リセスRを通してAlGaAs電子供給層16にショットキー接触する断面T字形のゲート電極19が構成される。

【0027】次に、フォトリソグラフィー技術によって絶縁膜18をパターニングし、これによって、ゲート電極19の両側方に2つの開口18s、18dを形成する。さらに、リフトオフ法によって2つの開口18s、18dをそれぞれ通ってキャップ層16に抵抗接触するソー

ス電極20sとドレイン電極20dを形成する。以上のような工程によって形成されたHEMTは、InGaAs電子走行層14とその上のAlGaAs電子供給層15との伝導帯端のエネルギー差 $\Delta E_c$ が0.5eV以上となる。これにより、二次元電子ガス2DEGの電子濃度が、従来のInP基板を使用したHEMTでは達成できなかったレベルまで増加し、40Gbps帯の応答速度が可能になり、デバイス特性を著しく改善させることになる。

【0028】なお、電子供給層の構成材料としてInGaP、AlGaInPを用いてもよいし、バッファ層12にAlGaAsを使用してもよい。ところで、本実施形態のHEMTにおいては、GaAsバッファ層12とInGaAs電子走行層14の間にInGaAs窒素拡散防止層13を介在させたのは次のような理由による。

【0029】即ち、InGaAs窒素拡散防止層13を介在させないで形成された図4に示すHEMTの構造では、電子走行層14を構成するInGaAsを成長する初期の段階で、減圧横型炉1内に導入した窒素がGaAsバッファ層13に混入してしまい、電子走行層14とバッファ層12の間にGaAsが形成されてしまう。そのGaAsはp型となってHEMT特性を劣化させてしまう。

【0030】これに対して、本実施形態のHEMTのように、InGaAs窒素拡散防止層13をGaAsバッファ層12とInGaAs電子走行層14の間に介在させると、窒素拡散防止層13はGaAsバッファ層12への窒素の混入を防止する。例えば、本実施形態のHEMTの電子走行層14からバッファ層12にかけた領域でのインジウムと窒素のプロファイルをSIMS法によって分析したところ図3のようになった。

【0031】一方、InGaAs窒素拡散防止層13を有しない図4に示すHEMTの電子走行層14とバッファ層12の領域でのインジウムと窒素のプロファイルをSIMS法によって分析したところ図5のようになり、図3に示す本実施形態のプロファイルに比べて窒素が下方拡散していることがわかる。これにより、InGaAs窒素拡散防止層13に覆われたGaAsバッファ層12には窒素が混入し難くなっていることが示された。

【0032】ところで、InGaAs電子走行層14を成長する際に、成長温度を図6の(a)に示すように560℃と一定としたところ、図7の(a)に示すようにInGaAs電子走行層14には、水素(H)が多量に混入していた。そのHは、ソースガスに含まれている元素であり、化合物半導体の結晶性を劣化させる要因となる。これに対して、化合物半導体成長中に成長温度を図6の(b)、(c)に示すように制御したところ、図7の(b)、(c)に示すように炭素又は水素を低減することができた。

【0033】図6の(b)、(c)に示す温度制御は、少なくともInGaAs電子走行層14の成長を終えた後に行う。これは、InGaAsには、成長温度が低いほどソースガス中の炭素が混入され難くなるからである。図6の(b)に

示す温度制御は、InGaAs 上にGaAs又はInGaAsを形成した後に、成長温度を560℃から600℃に昇温し、これにより図7の(b)に示すようにInGaAs内の水素の混入量を少なくしている。

【0034】また、図6の(c)の温度制御は、InGaAsを形成した直後に成長温度を560℃から600℃に昇温し、これによって図7の(c)に示すようにInGaAs内の水素を減らすとともに、炭素の混入量も減らすことができた。また、図6の(b)に示すように、InGaAsを成長し、その上にGaAsを成長した後に、成長温度を560℃から600℃まで昇温したところ、図7の(a)、(b)に示すようにフォトルミネッセンス(PL)強度が図6の(a)の温度制御の場合のPL強度よりも高くなってInGaAsの結晶性が改善されていることがわかる。また、図6の(c)の温度制御の場合には、さらに図7の(c)に示すように、PL強度が高くなってよりInGaAsの結晶性が改善されていることがわかる。なお、成長温度の制御は、図1に示すヒータHによって行う。

【0035】本実施形態では、上述したように、化合物半導体層が成長されるGaAs基板1の主面はオフした面としている。このようなオフ基板を使用した理由は電子走行層14の窒素の含有量を制御するためである。即ち、GaAs基板11の主面(被膜形成面)をA面方向にオフした場合と、B面方向にオフした場合であって、それらのオフ角を変えて、主面の上方に形成されるInGaAs電子走行層14のPL発光波長を調べたところ、図8のような結果が得られた。図8に示すPL発光波長は、長波長であるほどInGaAs層内の窒素の混入量が多くなることを示している。なお、図8において、(110)は、A面方向とB面方向の中間のオフ面を示している。

【0036】図8によれば、A面方向に基板面をオフした場合には窒素が混入し易く、B面方向にオフした場合には窒素が混入しにくいことがわかり、その性質はオフ角が大きくなるほど顕著になる。したがって、InGaAs層での窒素の混入を促進したい場合には主面をA面方向にオフした基板を使用する一方、窒素の混入を抑えめたい場合には主面をB面方向にオフした基板を使用することになる。なお、GaAs基板のB面方向へのオフ面の上方にInGaAsを成長すると、そのInGaAsには炭素の混入が抑制されることも確認されており、B面方向のオフ基板を使用することによってHEMTの高特性を得ることができる。

【0037】なお、A面は、GaAs基板のうちGaが表れる面であり、B面はGaAs基板のうちAsが表れる面である。ところで、上記したHEMTでは、InGaAs電子走行層14とGaAsバッファ層12の間に窒素拡散防止(バリア)層13を介在させることによってGaAsバッファ層12へ間に窒素拡散を防止しているが、InGaAs電子走行層14の下部でのIn組成分布又はN組成分布を緩やか増加させることによって同様の効果が得られる。

【0038】例えば、電子走行層14を構成する $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}_y\text{As}$ の組成比 $x$ は膜厚方向で変化し、又は、組成比 $x$ はGaAs基板11側から電子供給層15への方で0から0.3を経て0へと変化し、又は、組成比 $y$ は電子走行層14内でステップ状又は線形に傾斜して変化し、又は、組成比 $y$ はGaAs基板11側から電子供給層15への方で0から0.03を経て0へと変化している。

#### 【0039】第2例

この第2例では、GaAsよりなるオフ基板を用いてその上にInGaAsよりなる活性層を形成して構成される半導体レーザについて説明する。そこで、以下に半導体レーザの製造工程を説明する。まず、p型不純物を含むGaAs基板21を図1に示した減圧横型炉1内に置くとともに、減圧横型炉1内の成長圧力を50Torrに保持するとともに、ヒータHの制御により基板温度を520℃～600℃の範囲内に設定する。

【0040】そのGaAs基板21は、例えば(100)面から0.2～25°の範囲、例えば16°オフした面を有するいわゆるオフ基板であり、その傾斜面の上に図9(a)に示すような化合物半導体層を成長する。図9(a)において、p型GaAs基板21の上には、膜厚1.5μmのp型GaAsよりなるバッファ層22、膜厚500nmのp型AlGaAsよりなる第1のクラッド層23、膜厚100nmのアンダーGaAsよりなる第1のガイド層24、膜厚20nmの $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}_y\text{As}$ ( $0 \leq x \leq 0.7$ ,  $0 < y \leq 0.1$ )よりなる活性層25、膜厚100nmのアンダーGaAsよりなる第2のガイド層26、膜厚500nmのn型AlGaAsよりなる第2のクラッド層27、n<sup>+</sup>型GaAsよりなるコンタクト層28を順に形成する。なお、活性層25のエネルギーバンドギャップは、ガイド層24、26、第1及び第2のクラッド層23、27のエネルギーバンドギャップよりも狭い。

【0041】以上のような化合物半導体膜の成長を終えた後に、GaAs基板21を減圧横型炉1から取り出す。その後、図9(b)に示すように、コンタクト層28の上にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜28を形成する。続いて、絶縁膜28をフォトリソグラフィー法によってパターニングしてストライプ形状の開口29aを形成する。

【0042】次に、開口29aの内部と絶縁膜28の上にAuGeNi/Auよりなるn側電極30を形成し、さらに、GaAs基板21の下面にAuGe/Auよりなるp側電極31を形成する。これにより半導体レーザの基本的な構造の形成が完了する。図9(b)に示す半導体レーザは、p側電極31とn側電極30に電流を流すことによって活性層25の端面から光が放出される。その光の波長は、0.9μm～1.6μmの範囲である。

【0043】ところで、図9(a)に示したように、活性層25を構成する $\text{In}_x\text{Ga}_{(1-x)}\text{N}_y\text{As}$ の窒素含有量は、図8において既に示したように、GaAs基板の主面のオフ角によって制御することができる。即ち、活性層25で

の窒素の混入を促進したい場合には主面をA面方向にオフした基板を使用する一方、窒素の混入を抑えめにした場合には主面をB面方向にオフした基板を使用することになる。

【0044】A面方向に16度オフしたGaAs基板21を使用した場合の活性層25における窒素量は、成長温度をさらに40℃下げることによってGaAs基板の(100)面の上に形成されたInGaAsの窒素量と同じになる。しかし、InGaAsの成長温度を下げると水素の混入量が増えてPL発光強度が低下して結晶性が悪くなる。例えば、GaAs基板の主面(被膜形成面)を(100)面としてその上に本例と同様な構成の化合物半導体層を形成した場合に、これによって得られる半導体レーザの閾値電流は3kA/cm<sup>2</sup>であった。

【0045】これに対して、本実施形態のように、GaAs基板21の主面を(100)面からA面方向に16度オフした面とし、その上に図9(a)に示した化合物半導体層を形成して半導体レーザを形成したところ、閾値電流は1kA/cm<sup>2</sup>となった。したがって、窒素を含む化合物半導体により活性層を構成する場合に、オフ基板を用いて窒素量を調整することができ、しかも、水素混入を抑制することができ、これにより半導体レーザの1.3μm帯の特性を改善することができる。

【0046】なお、本例は、オフ角をA面方向に限定するものではなく、A面方向、B面方向又は(110)方向のいずれかを選択してもよい。

【0047】

【発明の効果】以上述べたように本発明によれば、(100)面からオフした主面を有するGaAs基板を使用し、その主面の上方にInGaAsよりなる化合物半導体層を形成したので、オフ角によってInGaAsに含まれる窒素の量を制御することができ、温度を下げることなく所望の窒素量を含むInGaAsを形成することができる。

【0048】しかも、InGaAsを成長する際に温度を低下させる必要がなくなり、InGaAs層での水素の混入量を減らすことができる。他の本発明によれば、化合物半導体装置であるHEMTにおいて、InGaAs電子供給層とその下のGaAs層又はAlGaAs層との間にInGaAsバリア層を介在させたので、InGaAsバリア層は、InGaAsの成長初期において、窒素がGaAs層又はAlGaAs層に混入することを防止することができ、HEMTの特性が向上する。

【0049】さらに他の本発明によれば、InGaAs層を成長した後に、その後に形成される化合物半導体層の成

長温度を上げたところ、InGaAs層での水素の混入量が減り、さらに、電子走行層の上にInGaAs層を薄く形成した後に、その後に形成される化合物半導体層の成長温度を上げたところ、炭素の混入量が減少することが実験により確かめられた。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、本発明の実施形態の化合物半導体装置の製造に使用されるMOVPE装置の一例を示す構成図である。

【図2】図2(a),(b)は、本発明の実施形態に係るHEMTの製造工程を示す断面図である。

【図3】図3は、本発明の実施形態に係るHEMTの電子供給層とバッファ層の窒素とインジウムの元素濃度を示すプロファイルであり、縦軸は対数目盛、横軸は比例目盛である。

【図4】図4は、従来のHEMTの一例を示す断面図である。

【図5】図5は、図4に示すHEMTの電子供給層とバッファ層の窒素とインジウムの元素濃度を示すプロファイルであり、縦軸は対数目盛、横軸は比例目盛である。

【図6】図6は、本発明の実施形態に係るHEMTを構成する化合物半導体の成長温度の変化を示すタイミングチャートである。

【図7】図7は、本発明の実施形態のHEMTを構成する化合物半導体の成長温度条件の相違による電子供給層内の含有元素の濃度の違いを示す図であり、縦軸は対数目盛、横軸は温度変化の違いを示している。

【図8】図8は、本発明の実施形態に係る化合物半導体装置が形成されるGaAs基板のオフ角度の相違によるInGaAs層のPL波長の違いを示す図であり、縦軸と横軸は比例目盛である。

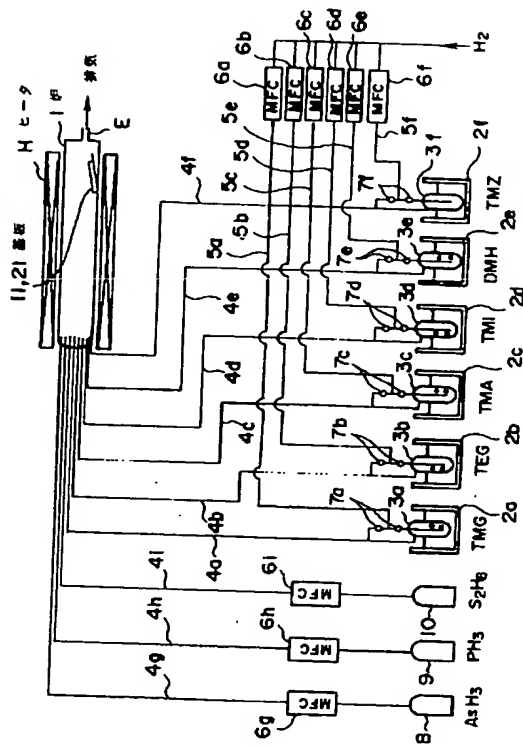
【図9】図9(a),(b)は、本発明の実施形態に係る半導体レーザの製造工程を示す断面図である。

【符号の説明】

11…GaAs基板、12…GaAsバッファ層、13…InGaAs窒素拡散防止層、14…InGaAs電子走行層、15…AlGaAs電子供給層、16…GaAsキャップ層、18…絶縁膜、19…ゲート電極、20s…ソース電極、20d…ドレイン電極、21…GaAs基板、22…GaAsバッファ層、23…p-AlGaAsクラッド層、24、26…ガイド層、25…InGaAs活性層、27…n-AlGaAsクラッド層、28…GaAsコンタクト層、29…絶縁膜、30…n側電極、31…p側電極。

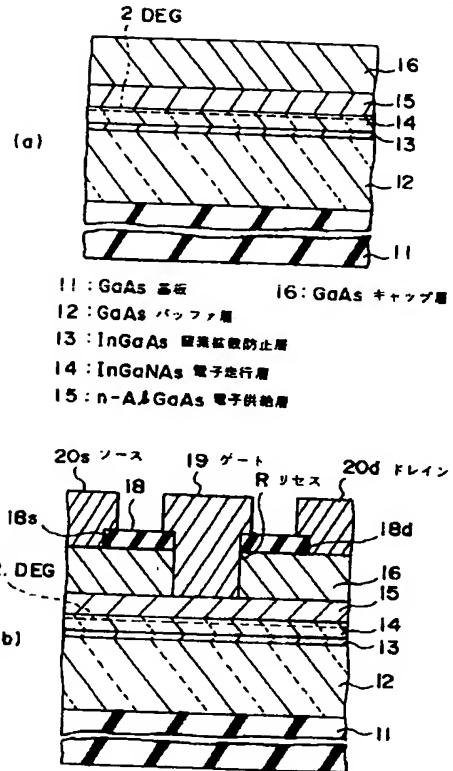
【図1】

本発明の発露形態に使用されるMOVPE装置の一例を示す構成図



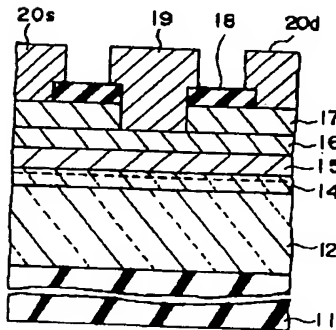
【図2】

本発明の発露形態に係るHEMTの製造工程断面図



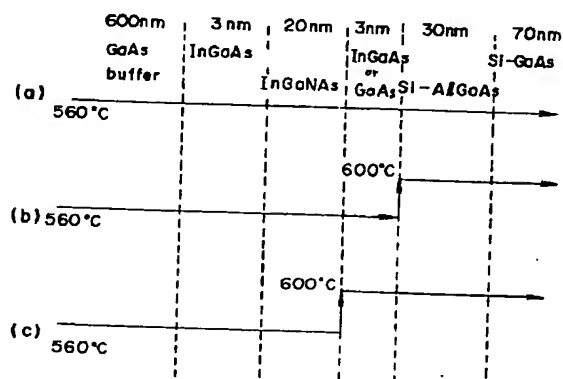
【図4】

従来技術の構成断面図



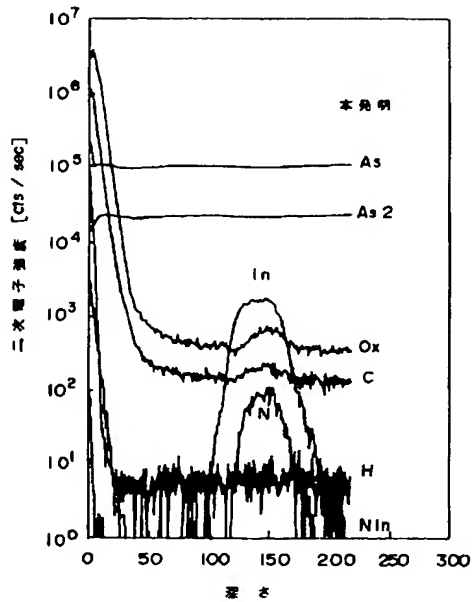
【図6】

本発明の発露形態に係るHEMTを構成する化合物半導体の成長温度の変化を示すシーケンス



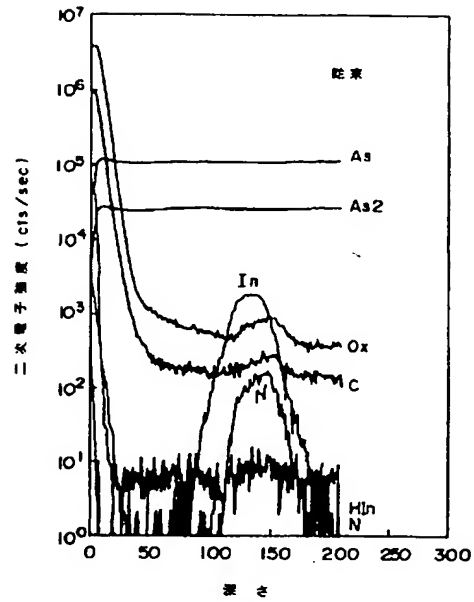
【図 3】

本発明の実施形態の HEMT の構成元素濃度を示す  
プロファイル



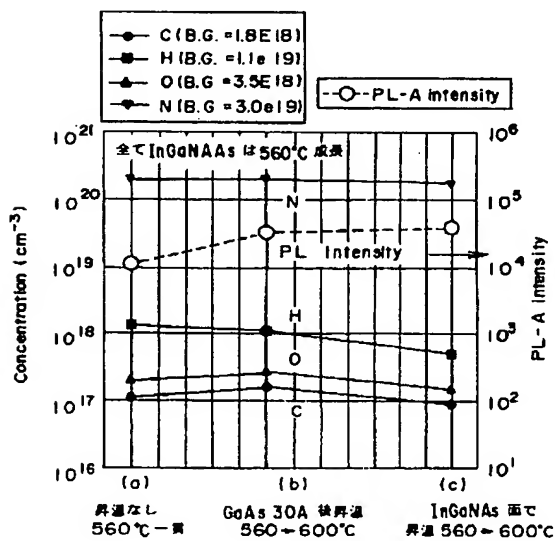
【図 5】

従来の HEMT の元素濃度プロファイル



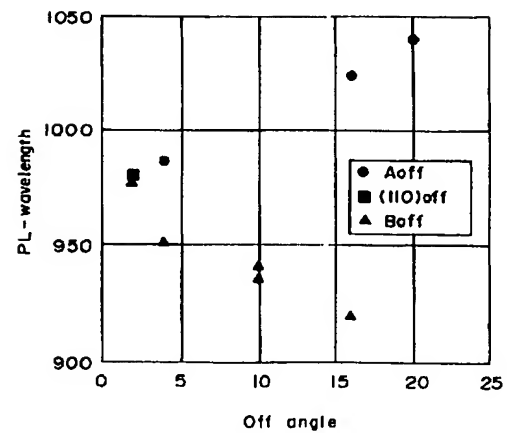
【図 7】

本発明の実施形態の HEMT を構成する化合物半導体の  
成長温度の条件の相違による電子足行層内の含有元素の濃度



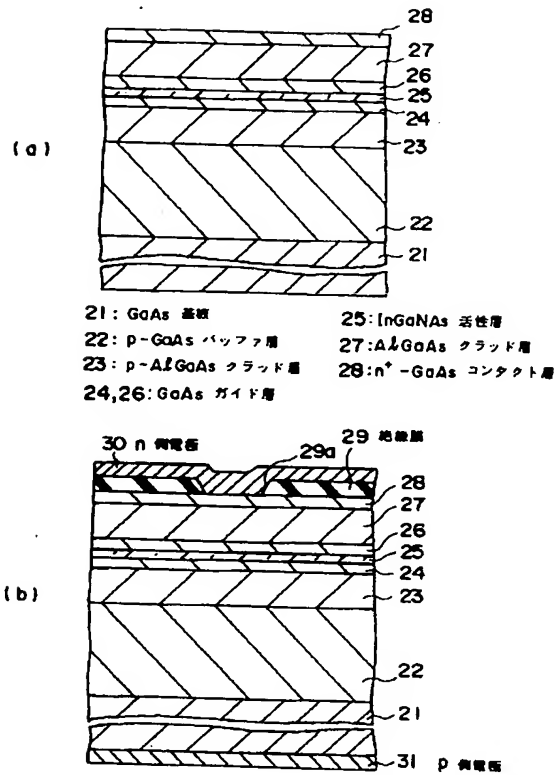
【図 8】

本発明の実施形態の化合物半導体素子が形成される  
GaAs 基板の Off 角度の相違による InGaAs 層  
の PL 波長の変化



【図9】

本発明の発明形態に係る半導体レーザの製造工程断面図



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F045 AA04 AB10 AB17 AB18 AC01  
AC08 AC09 AC19 AD09 AD10  
AE23 AF04 AF13 BB12 BB16  
CA07 CA12 DA53 DA58 DA63  
DP07 EK27  
5F073 CA07 CB02 DA05  
5F102 GB01 GC01 GD01 GJ05 GK05  
GK06 GL04 GM06 GN05 GQ01  
GR01 GR04 GS04 GT03 GT05  
GV05 GV07 GV08 HC01 HC11  
HC19